

논문 2008-45SD-11-2

Nd:YVO₄ 레이저 빔을 이용한 인듐 주석 산화물 직접 묘화 기술

(Direct Patterning Technology of Indium Tin Oxide Layer using
Nd:YVO₄ Laser Beam)

김 광 호*, 권 상 직**

(Kwang Ho Kim and Sang Jik Kwon)

요 약

AC PDP에 사용되는 ITO 전극의 공정시간을 단축시키고 생산성을 향상시키기 위해서 Nd:YVO₄ laser를 사용하여 ITO 전극 패터닝을 하였다. ITO etchant를 사용하여 ITO 전극패터닝을 형성한 샘플과 비교해서 laser를 사용하여 제작한 샘플은 ITO 라인 끝 부분에 shoulder와 물결무늬가 형성되었다. shoulder와 물결무늬의 제거를 위해서 laser의 펄스반복율과 스캔 속도에 변화를 주었다. 또한 shoulder와 물결무늬를 갖는 ITO 전극이 PDP에 주는 영향을 알아보기 위해서 방전특성분석을 하였다. 실험결과 40 kHz와 500 mm/s를 기본 조건으로 결정하였다. 본 실험을 통하여 레이저를 이용한 PDP용 ITO 전극막의 직접 패터닝 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract

For the reduction of fabrication cost and process time of AC plasma display panel (PDP), indium tin oxide (ITO) layer was patterned as bus electrode using Nd:YVO₄ laser. In comparison with the chemically wet etched ITO patterns, laser ablated ITO patterns showed the formation of shoulders and ripple-like structures at the edge of the ITO lines. For the reduction of shoulders and ripple-like structures, pulse repetition rate and scan velocity of laser was changed. In addition, we analyzed a discharge characteristic of PDP test panel to observe how the shoulders and ripple-like structures influence on the PDP. Based on experimental results, the pattern etched at the 500 mm/s and 40 kHz was better than any other condition. From this experiment we could see the possibility of the laser direct patterning for the application to the patterning of ITO in AC-PDP.

Keywords: 플라즈마 디스플레이 패널 (PDP), 인듐 주석 산화물(Indium Tin Oxide), 레이저 직접 패터닝

I. 서 론

PDP에 사용되는 ITO 전극은 보통 산성 용액을 사용하는 사진식각공정으로 형성 한다. 위험한 산의 사용은 환경문제를 유발할 뿐만 아니라 처리하는데 많은 비용이 들어 문제가 많다.^[1] PDP의 공정시간 단축과 생산성 향상을 위해서 많은 연구가 진행되고 있다. 여러 기술 중 하나로 사진식각공정을 대체한 레이저 직접 패터닝 방법

이 있다. 사진식각공정은 상대적으로 긴 공정시간과 많은 비용이 들어간다. 하지만 레이저 직접 패터닝은 단 한번의 공정으로 ITO 전극 패터닝을 형성할 수 있다.^[2~4] IR 영역의 레이저 광선은 130 nm 정도의 두께를 갖는 ITO 층에서 약 80 %가 흡수되고 유리 기판에서는 거의 투과하기 때문에 유리 기판에 손상 없이 ITO를 패터닝할 수 있다.^[5~6] 하지만 직접적으로 IR 영역의 레이저를 유리 기판에서 흡수하지 않더라도 ITO에서 레이저를 흡수하여 열을 받게 되면 간접적으로 유리에 영향을 주어 조금의 손상을 주게 된다. 이번 연구에서는 이런 손상을 줄이고 깔끔한 ITO 라인을 얻기 위해 레이저의 펄스 반복율과 스캔 스피드의 조건을 여러 가지로 다양화 했다.^[7~8]

* 학생회원, ** 정회원, 경원대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Kyungwon University)
접수일자: 2008년6월11일, 수정완료일: 2008년10월30일

게다가 실험을 통하여 얻어진 최적 조건을 적용하여 2인치의 PDP 샘플을 제작하여 방전실험을 진행하였다. 레이저로 ITO 전극을 형성한 샘플은 광학현미경, SEM 그리고 stylus profilometer로 관찰하였다.

II. 실험 방법

레이저 다이렉트 패터닝 실험은 2.8 mm 두께를 갖는 PDP 유리 기판(PD-200, ASAHI glass, Japan) 위에 130 nm 두께의 ITO가 증착된 샘플을 사용하였다. 이 ITO 층의 면 저항은 약 $30 \Omega/\square$ 이다. 연구에 사용한 레이저는 레이저 다이오드(laser diode)로 펌핑(pumping)되고 싱글모드(single mode)의 1064 nm 파장을 갖는 Q스위치 Nd:YVO₄ 고체레이저이다. 펄스 반복율은 0 kHz 에서 200 kHz 까지 변화를 줄 수 있다. 레이저 빔의 스팟(Spot) 사이즈는 40 μm 이고 최대 출력 펄스 에너지는 500 mJ이다.

실험 장비는 그림 1에 나타났다. 레이저 빔은 갈바노메트릭(galvanometric) 빔 스캐닝 시스템에 의해 주사되고 f-theta 160 mm 렌즈를 사용하여 100 mm \times 100 mm의 면적 전체로 확대된다. 그림 2는 ITO 다이렉트 패터닝 기술의 적용을 위해 제작된 PDP 패널의 셀 구조를 보여준다. 유리판은 90 mm \times 60 mm의 사이즈와 2.8 mm의 두께를 갖는다. 그리고 실제 발광 영역의 크기는 35 mm \times 35 mm 이다. 각 셀(cell)에 포함되는 두 ITO 전극의 폭은 각각 340 μm 이고, 사이의 간격은 80 μm 이다. 그리고 셀 간 피치(pitch)는 1080 μm 이다.

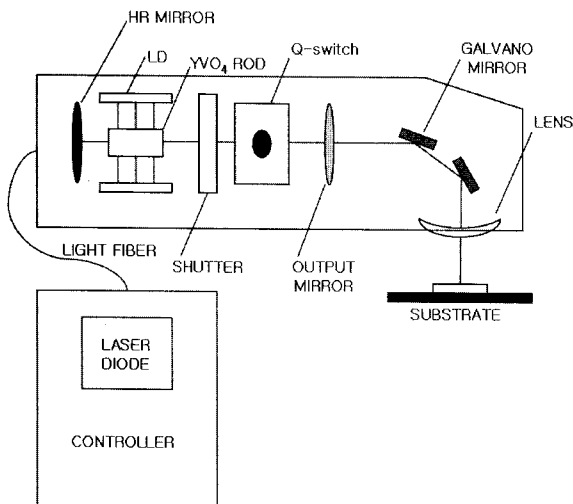


그림 1. 레이저 시스템 단면도
Fig. 1. Experimental setup for laser direct patterning of films.

가장 먼저 PDP 장치의 ITO 버스 전극의 레이저 패터닝을 실행하였다. 레이저 공정의 파라미터는 펄스 반복율(pulse repetition rate), 스캔 속도(scan speed), LD 전류(laser diode current) 등이 있다. 레이저 공정 후, 테스트 샘플의 형상은 광학현미경과 SEM으로 관찰하였다. 추가로, 레이저 공정 중 생긴 shoulder와 식각된 표면의 거칠기는 stylus profilometer로 측정하였다.

레이저 공정의 최적조건을 얻기 위해서, PDP 테스트 패널은 다른 조건은 고정하고 스캔 속도만을 다르게 하여 제작하였다. 스캔 속도가 높을 수록 레이저 빔 스팟(spot)의 겹치는 정도가 적어지기 때문에 ITO 패턴 후 생기는 shoulder와 물결무늬가 다르게 형성될 것이다. ITO의 모양변화와 물결무늬로 인한 X, Y ITO 전극 사이간격의 변화는 PDP 방전에 영향을 줄 수 있다고 판단하여 공정변수로 결정했다.

준비된 하판은 90 mm \times 60 mm의 크기에 2.8 mm의 두께를 갖는다. ITO 전극의 레이저 다이렉트 패터닝을 제외한 다른 공정들은 기존의 방법을 사용하였다. 레이저 다이렉트 패터닝한 샘플과 비교하기 위한 샘플은 사진식각공정을 사용하여 ITO를 패터닝 하였다.

PDP 상판을 제작하기 위해서 ITO 층을 레이저로 패터닝 한 후에 보조 Ag 전극은 스크린 프린팅(screen printing) 방법을 사용하여 ITO 위에 인쇄하였다. 그리고 유전체 층은 약 24 μm 의 두께로 ITO 전극 위에 인쇄하였다. MgO 층은 유전체 층 위에 e-beam evaporator를 사용하여 500 nm를 증착하였다.

PDP 하판을 제작하기 위해서 첫 번째로 어드레스 Ag 전극을 유리 기판에 인쇄했다. 그리고 그 위에 약 24 μm 두께의 유전체와 120 μm 두께의 격벽을 스크린 프린팅(screen printing) 법을 이용하여 인쇄하였다. 마지막으로 격벽 사이에 형광체를 인쇄하였다.

PDP 특성을 측정하기 위해서 상판 유리와 하판 유리를 마주보게 하여 진공 챔버(vacuum chamber)에 넣었

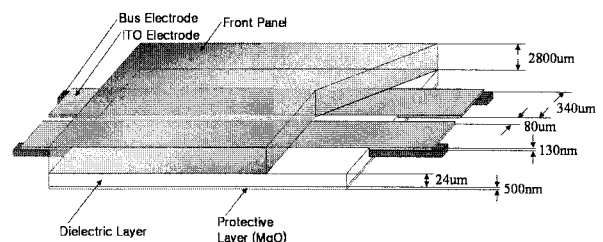


그림 2. PDP 패널의 셀 구조
Fig. 2. Cell structure of the AC PDP panel fabricated for the experiments.

다. 챔버는 turbomolecular 펌프를 사용하여 1x10⁻⁶ torr의 진공으로 만들었다. 그 후에 Ar 가스를 250 torr 까지 채운 후, 300 °C에서 1시간 동안 어닐링(annealing)을 하였다. 어닐링(annealing) 후에 다시 1x10⁻⁶ torr의 진공으로 만든 후에 turbomolecular 펌프의 게이트 밸브(gate valve)를 닫고 Ne에 Xe이 4 % 포함된 혼합가스를 400 torr 넣어주었다.

변위 전류를 포함한 방전 전류는 전류 프로브(TCP-A312)를 사용하여 측정했고, 발광 효율은 chroma-meter (CS-100A)를 사용하여 측정하였다.

III. 실험 결과

실험은 기본파장($\lambda = 1064 \text{ nm}$)을 갖는 Nd:YVO₄ 레이저를 사용했다. 첫 번째로, 펄스 반복율(pulse repetition rate)은 Q스위치 진동자에 의해 10 kHz에서 80 kHz로 변화를 주었다.^[9~10] 여기에서 레이저 에너지는 약 45 J/cm²이고 스캔 속도는 500 mm/sec로 설정하였다. 그리고 연속적인 펄스 사이에 50 %가 부분적으로 겹치도록 스캔 피치(pitch)를 20 μm 로 설정했다.

그림 3과 그림 4에 펄스 반복 율에 따른 에칭된 부분의 SEM 사진과 stylus profile을 나타내었다. 두 그림을 보면 40 kHz의 반복 율이 가장 매끄러운 라인을 갖는다는 것을 알 수 있다. 반면에 10 kHz를 보면 ITO가

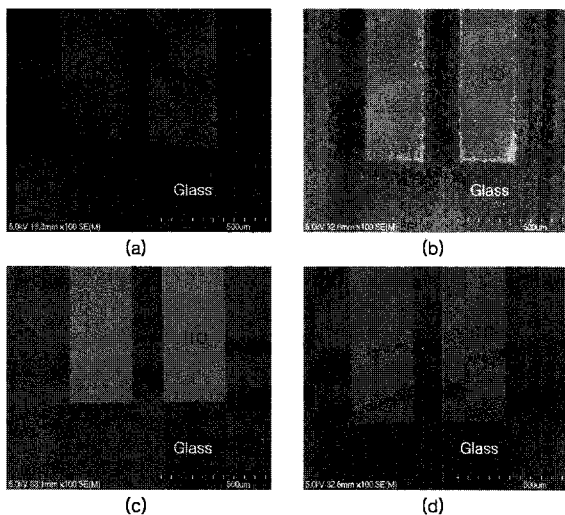


그림 3. 펄스 반복 율에 따른 SEM 사진
(a) wet-etched, (b) 10 kHz, (c) 40 kHz, (d) 80 kHz.
Fig. 3. SEM image of the laser-ablated ITO films fabricated with various pulse repetition rates. (a) wet-etched, (b) 10 kHz, (c) 40 kHz, and (d) 80 kHz.

장자리에 물결무늬가 형성되었고, 바닥부분은 상대적으로 거칠다는 것을 알 수 있다. 이것은 10 kHz의 레이저가 40 kHz나 80 kHz의 레이저 보다 순간적인 피크가 높기 때문이라고 판단된다.

그림 4에 보이는 ITO 끝 부분의 shoulder는 10 kHz의 반복 율에서 더 많이 형성됐다. 반면에 80 kHz의 반복 율에서는 ITO 제거가 확실히 되지 않았으며 에칭된 표면도 매우 거칠었다. 비교를 위해서 사진식각공정으로 형성한 ITO 라인의 모습도 첨부하였다. 그림에 보이듯이 사진식각공정으로 형성한 샘플은 상대적으로 깨끗하게 식각이 되었고 shoulder도 형성되지 않았다. 레이저를 사용한 샘플의 가장자리에 형성된 shoulder는 열의 증발로 인하여 ITO가 제거된다는 것을 나타낸다.

스캔 속도에 따른 stylus profile과 SEM 사진을 그림 5와 그림 6에 나타냈다. 비교적 500 mm/s의 샘플이 사

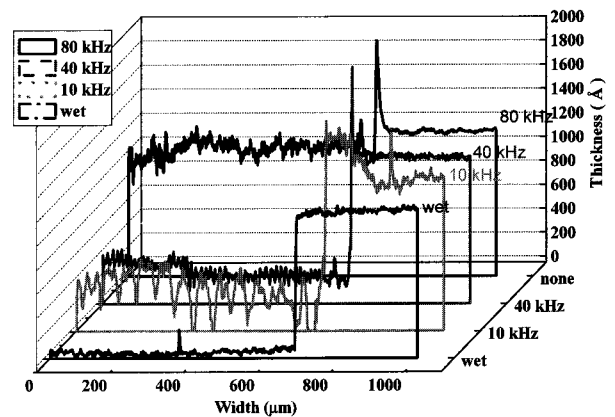


그림 4. 펄스 반복 율에 따른 에칭된 홈의 stylus profile
Fig. 4. Stylus profiles measured across the laser-ablated grooves formed with various pulse repetition rates.

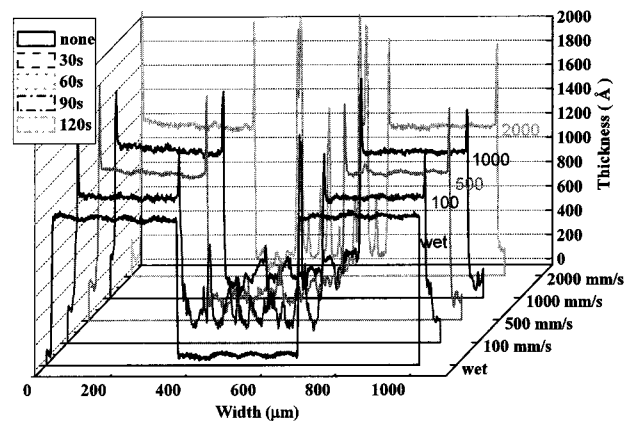


그림 5. 스캔 속도에 따른 stylus profile
Fig. 5. Stylus profiles measured across the laser-ablated grooves formed with various laser scan speeds.

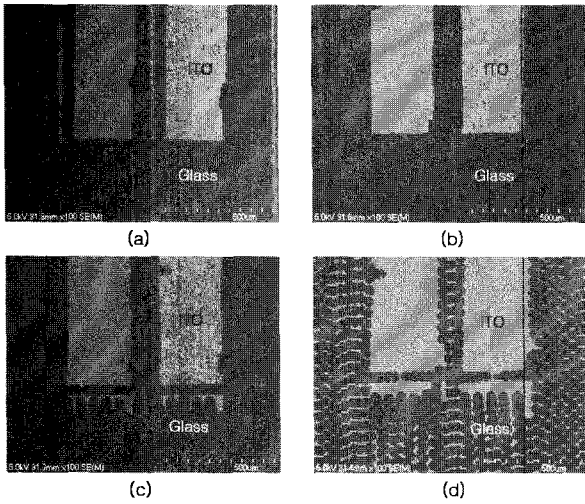


그림 6. 스캔속도에 따른 SEM 사진 : (a) 100 mm/s, (b) 500 mm/s, (c) 1000 mm/s, (d) 2000 mm/s.
 Fig. 6. Secondary electron microphotographs of the laser ablated ITO films depending on the laser scan speed : (a) 100 mm/s, (b) 500 mm/s, (c) 1000 mm/s, and (d) 2000 mm/s.

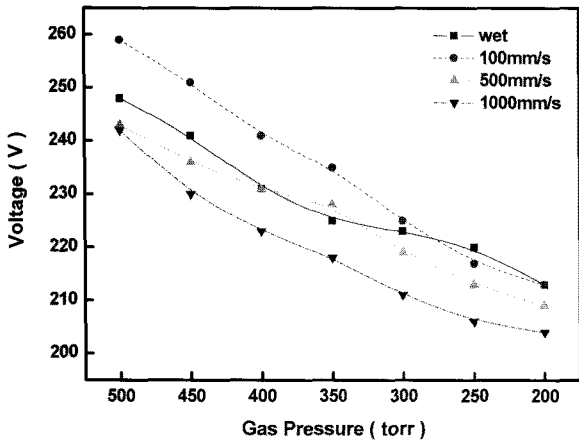


그림 7. 가스 압력에 따른 방전개시전압(Vf) 특성
 Fig. 7. Firing Voltage characteristics with various gas pressure.

진식각공정으로 제작한 샘플과 비슷한 결과를 보여주었다. 1000 mm/s, 2000 mm/s의 샘플의 경우 레이저 빔 스팟의 겹침이 적어서 ITO 끝 부분에 에칭이 덜 된 부분이 있었다. 또한 2000 mm/s 샘플의 경우 X, Y 전극간에 쇼트된 부분이 있었다. 반면에 100 mm/s의 샘플은 에칭시간이 가장 길었고 표면 또한 상대적으로 많이 거칠었다.

방전 테스트를 위해 주파수 50 kHz, 펄스폭 3.0 us의 구형 펄스를 X전극, Y전극에 공급하였다.

그림 7에 보이듯이 발광개시전압(Vf)의 방전 특성은 500 mm/s의 샘플이 사진식각공정으로 제작한 샘플과

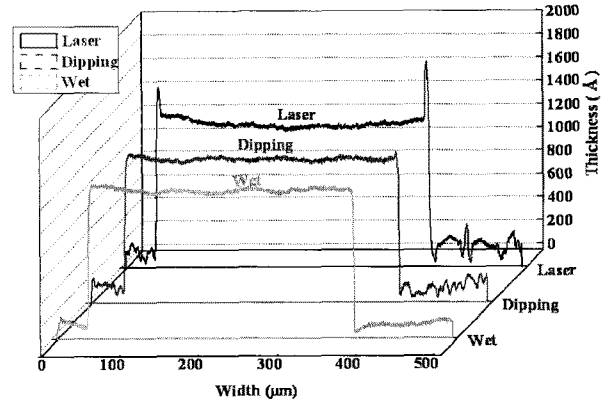


그림 8. 에칭 조건에 따른 ITO전극의 stylus profile
 Fig. 8. Stylus profiles measured across the laser-ablated grooves formed with various etching condition.

가장 비슷하다. 여기서 1000 mm/s의 샘플의 전압이 낮아 더 좋아 보일 수도 있지만 이것은 실제 ITO의 폭이 더 넓고 X, Y 전극간의 간격이 더 작기 때문이다. 이것은 실제로 설계한 도면과 어긋남이 있기 때문이며 500 mm/s의 샘플이 비교적 실제 설계한 도면 크기와 비슷하게 나온 것이다. 여기서 2000 mm/s의 샘플을 측정하지 않은 것은 앞에서 언급하였듯이 부분적인 전극간의 쇼트로 인하여 측정이 어려웠기 때문이다.

레이저 공정 중에 생기는 shoulder 와 물결무늬를 제거하기 위해서 레이저 공정 진행 후에 추가적으로 ITO etchant에서 30 초간 dipping을 해주었다. 그림 8에 나타난 표면단차측정 결과를 보면 dipping 한 샘플의 shoulder가 제거가 되었음을 알 수 있다. 또한 에칭된 표면 또한 dipping 전보다 조금 더 깨끗해 졌음을 알 수 있다.

IV. 결 론

ITO 다이렉트 패터닝은 Nd:YVO₄ 레이저($\lambda = 1064$ nm)를 이용하였다. 레이저로 제거된 ITO 가장자리의 shoulder와 에칭된 표면의 거칠기는 펄스 반복율과 스캔 속도에 영향을 받는다. 펄스 반복율이 낮을 경우 순간적인 피크 파워가 높기 때문에 유리에 손상을 준 것으로 판단되며, 너무 높을 경우 피크 파워가 낮아서 ITO가 부분적으로 남아있는 것으로 판단하였다. 스캔 속도가 낮을 경우 패터닝 시간이 오래 걸리고 에칭된 부분이 거칠었으며, 스캔속도가 높을 경우 레이저 빔 스팟의 겹침이 적어 더 많은 물결무늬를 형성하였다. 이것은 스캔속도가 높을 수록 빔이 더 빠르게 지나가

기 때문이다. 방전테스트 결과를 보면 500 mm/s의 샘플이 사진식각공정으로 제작한 샘플과 가장 비슷다는 것을 알 수 있다. 위 결과들로 40 kHz의 반복율과 500 mm/s의 조건이 PDP 제조에 적용이 가장 좋다고 판단하였다. 또한 레이저로 형성한 ITO 전극에 형성되는 shoulder와 물결무늬를 dipping을 통해서 제거하면 실제 사진식각공정으로 제작한 샘플과 비슷한 특성을 갖는 디바이스를 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. Takai, D. Bollmann and K. Habberger, "Maskless patterning of indium tin oxide layer for flat panel displays by diode-pumped Nd:YLF laser irradiation", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, No. 19, pp. 2560-2562, May 1994.
- [2] O. Yavas and M. Takai, "High-speed maskless laser patterning of indium tin oxide thin films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 18, pp. 2558-2560, November 1998.
- [3] O. Yavas and M. Takai, "High-speed maskless laser patterning of thin films for giant microelectronics", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, pp. 7131-7134, December 1999.
- [4] O. Yavas and M. Takai, "Effect of substrate absorption on the efficiency of laser patterning of indium tin oxide thin films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 85, No. 8, pp. 4207-4212, April 1999.
- [5] H. J. Booth, "Recent applications of pulsed laser in advanced materials processing", *Thin Solid Films.*, Vol. 453-454, pp. 450-457, 2004.
- [6] O. Yavas, C. Ochiai and M. Takai, "Substrate-assisted laser patterning of indium tin oxide thin films", *Appl. Phys. A.*, Vol. 69, pp. S875-S878, December 1999.
- [7] K. C. Lee and C. Lee, "ITO thin films ablation using KrF excimer laser and its characteristics", *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, Vol. 1, No. 4, pp. 20-24, December 2000.
- [8] H. Zhang, X. Meng, L. Zhu, J. Liu, C. Wang and Z. Shao, "Laser properties at 1.06 um for Nd:GdVO₄ single crystal pumped by a high power laser diode", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, pp. L1231-L1233, November 1999.
- [9] S. Lecomte, M. Kalisch, L. Krainer, G. J. Spühler, R. Paschotta, M. Golling, D. Ebling, T. Ohgoh, and T. Hayakawa, "Diode-pumped passively mode-locked Nd:YVO₄ lasers with 40-GHz repetition rate", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 41, pp. 45-52, January 2005.
- [10] T. Sizer, "Increase in laser repetition rate by spectral selection", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 25, No. 1, pp. 97-103, January 1989.

저 자 소 개



김 광 호(학생회원)
2006년 경원대학교 전자공학과
학사 졸업.
2008년 경원대학교 전자공학과
석사 졸업.
<주관심분야 : 디스플레이, 반도체>



권 상 직(정회원)
1982년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1985년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
1991년 서울대학교 전자공학과
박사 졸업.

2008년 현재 경원대학교 전자공학과 정교수
<주관심분야 : 디스플레이, 반도체>